

# 적산온도 방법에 의한 초지연제 혼입율에 따른 3성분계 모르타르의 응결시간 예측

## Prediction of Setting Time of Ternary Blended Mortar According to Super-Rretarding Agents Dosages Applying Maturity Method

한 수 환\*      정 영 진\*\*      현 승 용\*\*\*      김 종\*\*\*\*      한 민 철\*\*\*\*\*      한 천 구\*\*\*\*\*

Han, Soo-Hwan    Jeong, Yeong-Jin    Hyun, Seung-Yong    Kim, Jong    Han, Min-Cheol    Han Cheon-Goo

### Abstract

This study proposed a condensation prediction method for mortar mixed with super retardant using the additive temperature method. As a result, it is believed that the condensation prediction using the additive temperature method is highly plausible.

키 워 드 : 초지연제, 적산온도, 양생온도, 응결시간

Keywords : super retarding agent, maturity, curing temperature, setting time

### 1. 서 론

초지연제란 임의로 혼입율을 조절함에 따라 모르타르 및 콘크리트의 응결 및 경화시간을 수시간에서 수일까지 지연이 가능하고, 초기 및 장기재령에서 압축강도 발현에 악영향을 미치지 않는 혼화제를 말한다. 이러한 초지연제는 응결시간을 임의로 조절할 수 있는 혼화제로서 수화지연에 관여하게 되는데, 수화는 온도의 영향을 받게된다. 우리나라는 4계절 변화가 있고 이에 따른 건설공사현장의 온도변화는 콘크리트의 온도에 영향을 미치게 됨에 따라 양생온도에 따른 초지연제의 응결지연 효과를 정량화하여 평가할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 양생온도가 초지연제 이용 콘크리트의 응결지연에 미치는 영향 및 응결시간예측을 위한 모델을 구축하기 위하여 적산온도 방법을 활용하여 응결시간을 평가하고자 한다.

표 1. 실험계획

실험요인		실험수준	
실험요인	B:S(W/B)	1	1:3(65 %)
	OPC:FA:BS(%)		50:15:35
	목표 슬럼프(mm)		180±25
	목표 공기량(%)		4.5±1.5
	초지연제(%)	6	0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5
	양생온도(℃)	3	5, 20, 35
실험사항	굳지않은 모르타르	1	응결시간

$$k_t = A \cdot \exp \frac{E_a}{RT} \text{ ----- (1)}$$

$k_T$  : 속도상수  
 $A$  : 빈도계수  
 $E_a$  : 결보기 활성화 에너지(KJ/mol)  
 $R$  : 가스상수(8.314 J/mol · K)  
 $T$  : 절대온도(K, 273+℃)

### 2. 실험계획 및 방법

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다. 본 연구에서 사용한 Arrhenius 식은 식(1)과 같다. 적산온도 방법의 응결시간 적용을 위해 식(1)의 양변에 자연로그(ln)를 취하여 실험 데이터로부터  $\ln(K_T)$  값과  $1/T$ 의 값을 플롯트하여 얻어진 1차 회귀식의 기울기 값으로부터  $E_a/R$ 값을 도출하고, 이 값으로  $E_a$ 값을 도출하였다.

\* 청주대학교 건축공학과 석사과정, 교신저자(tydddd@naver.com)  
 \*\* 청주대학교 건축공학과 석사과정  
 \*\*\* 청주대학교 건축공학과 박사과정  
 \*\*\*\* 청주대학교 건축공학과 조교수, 공학박사  
 \*\*\*\*\* 청주대학교 건축공학과 교수, 공학박사  
 \*\*\*\*\* 청주대학교 건축공학과 명예석좌교수, 공학박사

### 3. 실험 결과 및 분석

그림 1은 Arrhenius 함수를 이용하여 온도변화에 따른 응결시간의 관계를 초지연제 혼입율로 나타낸 것이다. Arrhenius 함수식에서 절대온도의 역수  $\ln(k_p)$ 를 응결시간의 역수  $\ln(1/t)$ 로 치환하여 Y축에 도시하고, 절대온도의 역수( $1/T$ )를 X축에 도시하여 이들의 관계로부터 1차 회귀식을 도출하였다. 전반적으로 초지연제 혼입율과 관계없이  $\ln(1/t)$ 와  $1/T$ 는 선형관계를 보이고 있는 것으로 나타났다.

표 2는 그림 1의 결과에 따라 초지연제 혼입율 별로 활성화 에너지 값을 나타낸 것이다. 실험결과 ASTM C 1074의 40~45 KJ/mol보다 작은 값으로 나타났다.

그림 2는 앞선 결과를 토대로, Arrhenius 식에  $\ln$ 을 취한 후 표 2의 결과에 따라 얻어진  $E_a$ 값을 이용하여 양생온도에 따른 등가재령을 초지연제 혼입율에 따라 나타낸 것이다. 등가재령은 양생온도와 상관없이 유사한 값을 나타내었는데, 이는 등가재령을 구할 때에 양생온도에 대한 고려가 미리 이루어 졌기 때문에 이에 따라 응결시간 예측에 적산온도 개념이 적용될 수 있는 것으로 사료된다.

그림 3은 그림 2의 결과의 결과를 토대로 등가재령으로부터 초지연제 혼입율별 초결과 종결시간을 추정하여 나타낸 것이다. 양생온도가 낮고, 초지연제 혼입량이 적을수록 응결시간이 낮아지는 것으로 나타났다.

그림 4는 예측식을 통한 응결시간과 실험을 통한 응결시간의 비교를 나타낸 것이다. 전반적으로 실제 측정한 실측치와 예측치가 유사한 값을 갖고 있으며 양호한 상관성을 확보함을 알 수 있었다.

### 4. 결 론

본 연구는 적산온도 방법을 활용하여 초지연제를 혼입한 모르타르의 응결예측방법을 제시하였는데, 그 결과 초지연제 혼입율별로 응결시간을 예측한 예측치와 실측치의 양호한 상관성을 확보함을 확인하여 적산온도 방법을 활용한 응결예측의 타당성이 클 것으로 판단된다.

#### 참 고 문 헌

1. 한민철, 초지연제 및 플라이애쉬를 사용한 콘크리트의 응결시간 예측, 한국콘크리트학회논문집, 제18권 제6호, pp.759~768, 2006

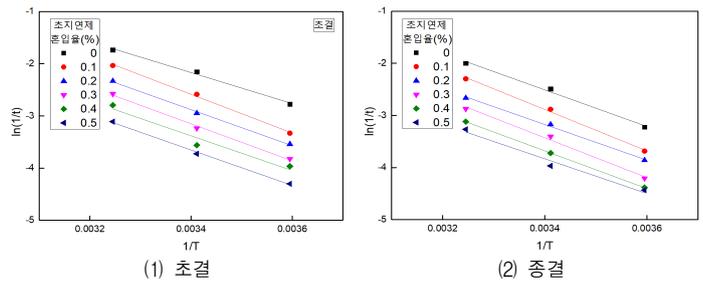


그림 1. Arrhenius 방정식에 따른 종결시간의 겉보기 활성화 에너지  
표 2. Arrhenius 함수식에 의한  $E_a$ 값 산정

초지연제 혼입율 (%)	응결시간	$\ln\left(\frac{1}{t}\right) = \ln A - B \cdot \frac{1}{T}$			$E_a$ (KJ/mol)
		$\ln A$	$B(E_a/R)$	$R^2$	
0	초결	7.926	2969.79	0.986	24.691
	종결	9.430	3511.86	0.986	29.198
0.1	초결	10.018	3707.60	0.994	30.825
	종결	10.617	3971.72	0.993	33.021
0.2	초결	8.843	3448.39	0.997	28.670
	종결	8.449	3418.89	0.993	28.425
0.3	초결	8.925	3552.25	0.992	29.533
	종결	9.557	3819.65	0.985	31.757
0.4	초결	7.931	3327.52	0.915	27.665
	종결	8.611	3615.16	1.000	30.056
0.5	초결	7.896	3397.17	0.995	28.244
	종결	7.463	3322.37	0.958	27.622

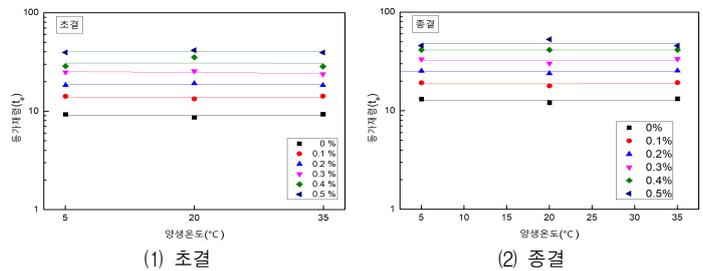


그림 2. 초지연제 혼입율별 양생온도에 따른 등가재령

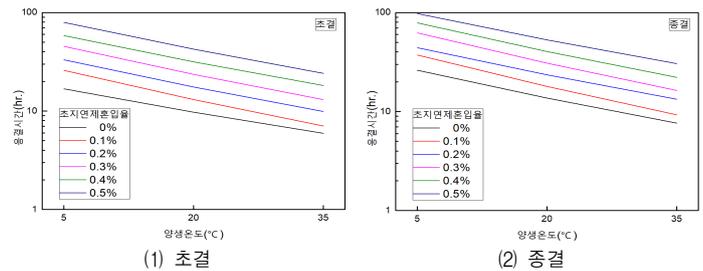


그림 3. 초지연제 혼입율별 양생온도에 따른 응결시간 예측

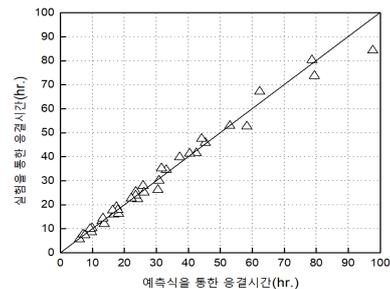


그림 4. 예측식을 통한 응결시간과 실험을 통한 응결시간의 비교